



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA DOKONČOVACÍCH ZPŮSOBŮ OBRÁBĚNÍ

ANALYSIS OF COMPLETE METHOD MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ DAUMER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. KAREL OSIČKA, PH.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Daumer

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Analýza dokončovacích způsobů obrábění

v anglickém jazyce:

Analysis of complete method machining

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kompletní analýza dokončovacích metod obrábění.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Rozbor základních dokončovacích metod obrábění a jejich použití.

Stav povrchu po dokončovacím obrábění.

Experiment pro vybranou metodu dokončovacího obrábění.

Vyhodnocení výsledků.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

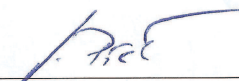
1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 25.11.2013





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Práca sa zaoberá analýzou dokončovacích spôsobov obrábania. Táto publikácia sa zameriava na charakteristiku základných dokončovacích metód a výslednú kvalitu povrchu. Práca uvádza používané stroje a nástroje v týchto metódach, ich výhody a nevýhody. V poslednej časti je praktická ukážka honovania valcov a vyhodnotenie experimentu.

Kľúčové slova

Dokončovacie metódy obrábania, stav povrchu po dokončovacom obrábaní, honovanie, valce,

Abstract

The work deals with analysis of complete methods machining. In this publication focuses on characteristics of some basic complete methods and results on quality of surface. The publication presents machinery and tools used in these technologies, their advantages and disadvantages. The last point is a practical demonstration honing barells and evaluation of the experiment.

Key words

Complete methods machining, the surface's quality after finishing cuts, honing, barells,

Bibliografická citácia

DAUMER, T. *Analýza dokončovacích způsobů obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Analýza dokončovacích spôsobov obrábania vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených na zozname v závere tejto práce.

Dátum:

Meno a priezvisko:

Pod'akovanie

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu práce Ing. Karlovi Osičkovi, Ph.D za cenné rady a pripomienky, ktoré mi pomohli pri spracovaní tejto bakalárskej práce. Ďalej ďakujem firme Bernex Bimetalic s.r.o a Ing. Pepovi Rúčkovi za pomoc pri praktickej časti .

Obsah

Úvod do dokončovacích metod obrábání	10
1. Dokončovací metody	11
1.1 Abrázivne metody	11
1.1.1 Brúsenie	11
1.1.2 Honovanie	16
1.1.3 Lapovanie	19
1.1.4 Superfinišovanie	21
1.2 Beztrieskové dokončovací metody	23
1.2.1 Valčekovanie	23
1.2.2 Guličkovanie	25
1.2.3 Vyhľadzovanie povrchu diamantom	26
1.3 Jemné obrábání	26
2. Stav povrchu po dokončovacom obrábání	28
2.1 Integrita povrchu	28
2.2 Zbytkové napätie	29
3. Experiment	30
3.1 Technologický postup	30
3.2 Nástroj na honovanie	32
3.3 Obrábací stroj na honovanie	33
4. Vyhodnotenie výsledkov	34
4.1 Namerané hodnoty	35
5. Záver	36
Zoznam použitých zdrojov	37

Zoznam použitých skratiek a symbolov39

Zoznam príloh41

Úvod do dokončovacích metod obrábání

Existuje velmi široká rada dokončovacích metod, od najstarších, zaužívaných až po nové moderné a perspektívne metódy. Dokončovacie operácie patria do oblasti konečných výrobných procesov, sú neoddeliteľnou súčasťou výroby, pretože vedú k zvyšovaniu kvality povrchu, spoľahlivosti a životnosti daných súčiastok. Konečná kvalita vyrobených kusov závisí hlavne na požiadavkách zákazníkov, ktorý nútia výrobcov, aby výsledkom bola kvalitná akostná, vzhľadová a tvarová plocha. Z toho vyplýva že musia byť zakaždým dodržané predpísané geometrické a tvarové tolerancie. Takéto požiadavky vychádzajú z nárokov na vysokú kvalitu a bezpečnosť chodu daných súčiastok a celých zariadení.

Z ekonomického hľadiska oblasti dokončovacích metod sa kladú ciele na znižovanie nákladov, ktoré zohráva významnú časť. V tomto smere je teda dôležité zvážiť akou metódou sa bude daná súčiastka vyrábať. S tým sú spojené predovšetkým náklady na stroje, nástroje a použité materiáli.

Fyzikálne veličiny ako sú teplota rezania, rezná sila, deformačné chovanie materiálu, opotrebenie nástroju sú ďalšie z mnoho aspektov ktoré súvisia a nadväzujú. A preto je dôležité nielen daný proces riadiť ale následne z výsledkov a získaných poznatkov tento proces rozvíjať.

Tato práce sa zaoberá rozborom jednotlivých dokončovacích metod obrábání, ich danom využití a konečných stavoch povrchov po danom procese.

1 Dokončovacie metódy

1.1 Abrazívne metódy obrábania

Abrazívny spôsob obrábania sa predovšetkým vyznačuje používaním nástrojov s nedefinovanou geometriou britu. Tvoria skupinu najviac využívaných metód pri obrábaní jednotlivých strojných súčiastok, pri ktorých sú vyžadované vysoké hodnoty presnosti obrobených plôch. Medzi tieto metódy môžeme predovšetkým zaradiť honovanie, brúsenie, lapovanie a superfinišovanie. [1]

1.1.1 Brúsenie

Brúsenie patrí v dnešnej dobe medzi najdôležitejšie časti v technológii výroby, pretože sa vyznačuje pomerne veľmi dobrou kvalitou povrchu, vyššou rozmerovou i tvarovou kvalitou, vďaka čomu je brúsenie považované ako vysoko presná dokončovacia metóda. Z hospodárskeho hľadiska sa stretávame aj s prípadmi, kedy používame brúsenie ako obrábaciu metódu. [1]

Od ostatných metód trieskového obrábania sa líši nedefinovanou geometriou britu. Je charakterizované rôznorodosťou tvaru zŕn ktoré sú nepravidelne rozmiestnené na ploche brúsiaceho nástroja. Proces brúsenia prebieha pri vysokých rezných rýchlostiach (30 až 100 m.s⁻¹) avšak platí že so zvyšujúcou sa reznou rýchlosťou rastie uhol roviny strihy, dochádza k zníženiu primárnej plastickej deformácie v mieste tvorby triesky. Dôležitým aspektom je neprekročenie limitnej hodnoty reznej rýchlosti, aby nedochádzalo k zníženiu tepelného vplyvu obrobku a nástroja. Preto je dôležité zvoliť dobrú reznú rýchlosť, ktorá má vysoký vplyv na vlastnosti novovytvorenej plochy. V porovnaní s inými operáciami je prierez triesky veľmi malý (10^{-3} až 10^{-5} mm²). [1]

Práca brúsiaceho kotúča je rozdielna od iných spôsobov obrábania v tom, že dochádza k takzvanému samoostreniu. Ide o vlastnosť ktorá súvisí so slabými väzbami medzi brúsiacim zrnom a kotúčom, následkom čoho sa otupené zrná vylomia. [1]

V strojárkej výrobe sa používajú rôzne metódy brúsenia na základe vhodnej technologickkej charakteristiky, ku ktorým sa definujú dané kritéria. Podľa toho kde je aktívna časť brúsiaceho kotúča sa jedná o brúsenie obvodové alebo čelné. [1]

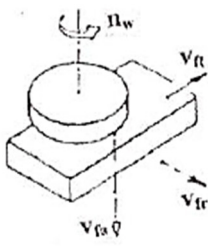
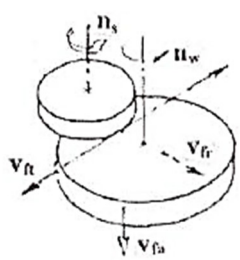

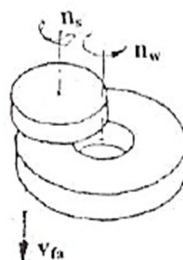
Z hľadiska hlavného pohybu posuvu stolu, sa určuje :

- axiálne brúsenie,
- tangenciálne brúsenie,
- radiálne brúsenie,
- obvodové zápichové brúsenie,
- čelné zápichové brúsenie.

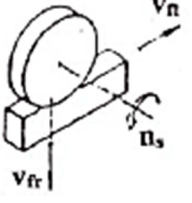
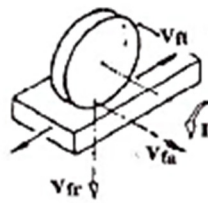
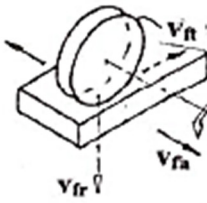
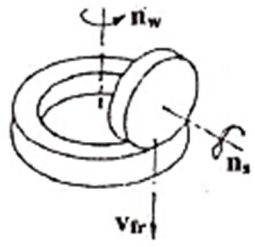
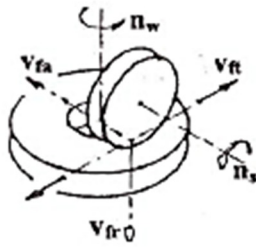
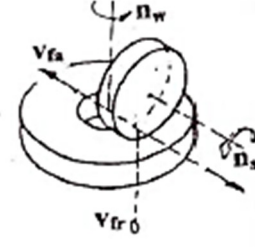
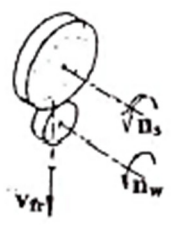
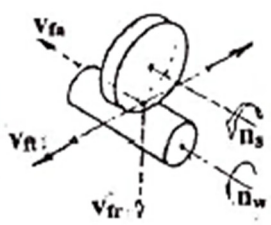
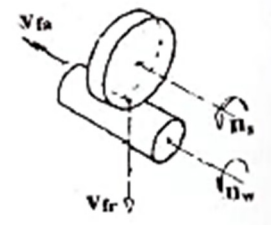

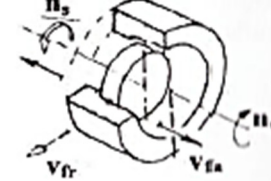
Podľa vzájomnej polohy obrobku voči brúsiacemu kotúču sa definuje:

- vonkajšie brúsenie,
- vnútorné brúsenie.

Vybrané metódy obrábania sa nachádzajú na obr. 1.1 čelné brúsenie a obr. 1.2 obvodové brúsenie.

Brúsenie čelné		
		radiálne tangenciálne axiálne
Rovinné - pohyb stolu	priamočiary	
	otáčavý	
Rovinné - pohyb stolu	priamočiary	
	otáčavý	

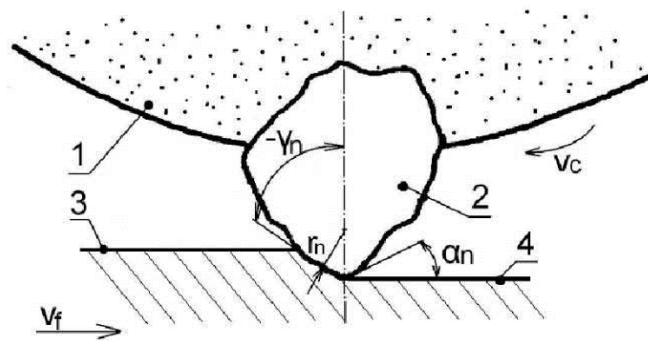
obr. 1.1 Vybrané spôsoby čelného obrábania [1]

		Brúsenie obvodové		
		radiálne	tangenciálne	axiálne
Rovinné - pohyb stolu	priamociary			
	otáčavý			
Do guľata	vonkajší			
	vnútorný			

obr. 1.2 Vybrané spôsoby obvodového brúsenia [1]

n_s – frekvencia otáčania brúsiaceho kotúča, n_w – frekvencia otáčania obrobku, v_{fa} – axiálna rýchlosť posuvu stolu, v_{fr} – radiálna rýchlosť posuvu stolu, v_{ft} – tangenciálna rýchlosť posuvu stolu

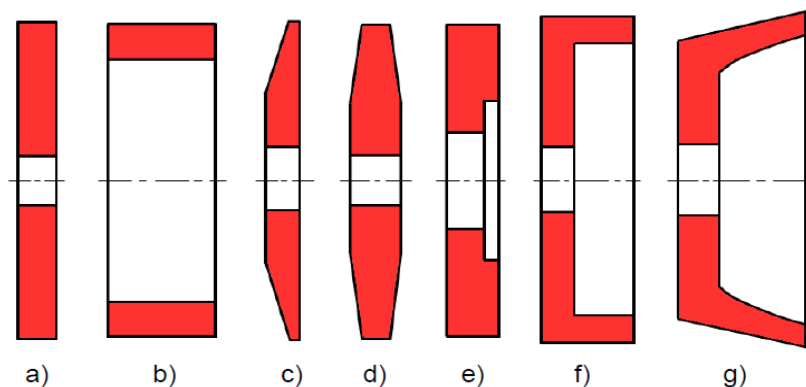
Trieska u brúsenia sa vyznačuje špecifickými podmienkami jej tvorby a vzniku obrobeného povrchu. Príčinou veľkého trenia a plastických deformácií sa niektorá časť triesky natoľko zohreje, že sa roztaví alebo zhorí. Na obr. 1.3 je model záberu viazaného zrna brusiva. [1]



obr. 1.3 Model záberu brúsiaceho zrna [1]

v_c - rezná rýchlosť, v_f - posuvná rýchlosť, γ_n - normálový uhol čela, α_n - normálový uhol chrbta, r_n - polomer zaoblenia ostria, 1 - brúsiaci kotúč; 2 - brúsiace zrno; 3 - obrábaná plocha; 4 - obrobená plocha

V technickej praxi sú brúsiace nástroje tvorené z materiálov Al_2O_3 , SiC , diamantového brúsiaceho materiálu a kubického nitridu bóru. Ich základnú časť tvoria brúsiace zrná spojené pomocou spojiva k podkladu. Označenie kotúčov je podľa ČSN ISO 0525 z hľadiska rozmerov, tvaru, zloženia a maximálnej obvodovej rýchlosti. Najčastejšie používaným nástrojom pri tejto operácii sú brúsiace kotúče na obr. 1.4. [1]



obr. 1.4 Tvary brúsiacich kotúčov

a) ploché, b) prstencové, c) kužeľové, d) obojstranné kužeľové, e) s jednostranným vybraním, f) hrncové g) miskovité. [2]

Brúsiace stroje sú vyrábané a dodávané v širokom sortimente rôznych druhov konštrukcií a použítí: rotačné brúsky (hrotové, bezhrotové), rovinné brúsky (vodorovné, zvislé), brúsky na diery (s rotačným pohybom obrobku, s planétovým pohybom kotúča), nástrojové brúsky (univerzálne, špeciálne). [1]



obr. 1.5 Univerzálna hrotová brúška firmy JAINNHER MACHINE [4]

Keďže brúsenie patrí medzi presné metódy obrábania využíva sa na obrábanie rovinných a rotačných plôch, na výrobu nástrojov, meradiel, prípravkov, ozubení, piestnych krúžkov atď.

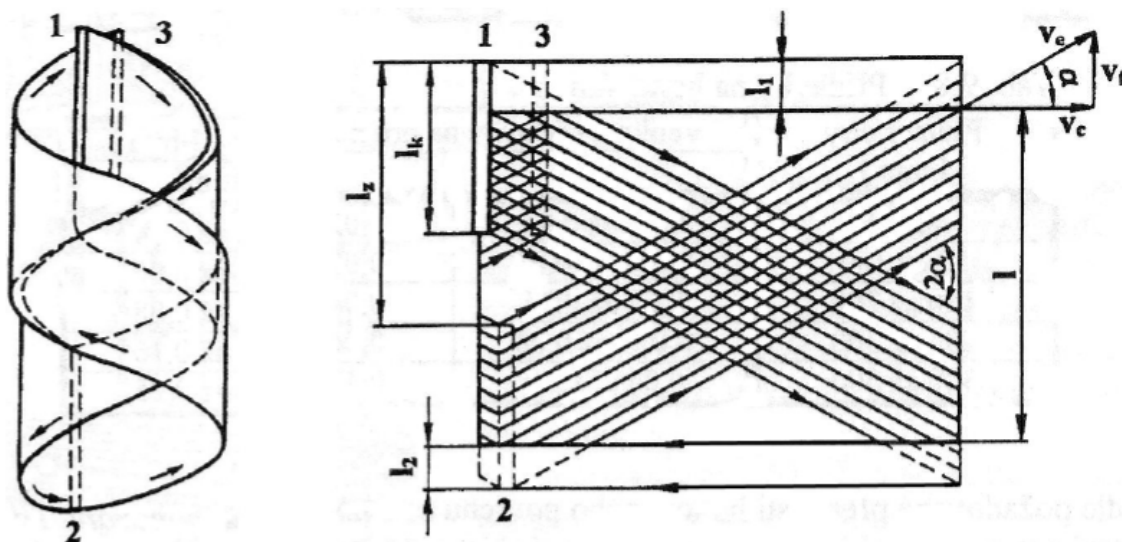
Tab. 1.0 Dosahované parametre presnosti u brúsenia [1]

Obrábané plochy	Metóda obrábania		Presnosť rozmerov IT		Ra [μm]	
			stredný	rozsah	stredný	rozsah
Vonkajšia rotačná	Brúsenie	hrubovacie	10	9 ÷ 11	2,4	0,80 ÷ 3,20
		dokončovacie	5	5 ÷ 6	0,4	0,20 ÷ 0,60
		jemné	4	3 ÷ 5	0,2	0,05 ÷ 0,40
Vnútorná rotačná		hrubovacie	10	9 ÷ 11	2,4	1,60 ÷ 3,20
		dokončovacie	6	5 ÷ 7	0,8	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,2	0,05 ÷ 0,40
Rovinná		hrubovacie	10	9 ÷ 11	2,4	1,60 ÷ 3,20
		dokončovacie	6	5 ÷ 7	0,8	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,2	0,05 ÷ 0,40

1.1.2 Honovanie

U honovania dochádza k zvyšovaniu kvality povrchu obrábanej plochy, najčastejšie vnútorných valcových plôch, rezným účinkom jemného brusiva honovacích kameňov (lišťach), ktoré sú uchytené v honovacej hlave. Honovať môžeme liatiny, neželezné kovy, kalené a nekalené materiály, tvrdé povlaky a mnoho ďalších materiálov v rozmerových rozsahov priemeru od 1 až 750 mm a dĺžky až do 24 m. Okrem vnútorného honovania sa zriedkavo honujú aj vonkajšie valcové plochy. [1]

Pod honovaním môžeme rozumieť že sa jedná o brúsenie malou rýchlosťou jemného brusiva honovacieho nástroja za intenzívneho použitia rezných kvapalín. U honovania vnútorných dier vykonávajú honovacie kamene zložený skrutkovitý pohyb, ktorý sa skladá z rotačného pohybu honovacej hlavy s rýchlosťou v_c a posuvného pohybu v smere osy honovania s rýchlosťou v_f – obr. 1.6. Na povrchu sa tak objavujú charakteristické krížové stopy, ktoré medzi sebou zvierajú uhol 2α . Hodnota uhlu α sa odporúča v rozsahu 20° až 55° pri vyšších uhloch sa získava nižšia drsnosť povrchu. [2]



obr. 1.6 Kinematika honovacieho procesu [1]

vľavo - pohyby honovacích kameňov, vpravo - rozvinutá plocha honovaného povrchu;
 1 – počiatočná poloha, 2 – poloha v dolnej úvrati, 3 – poloha v jednom dvojzdvihu, v_c – rezná rýchlosť, v_f – posuvná rýchlosť, v_e – rýchlosť rezného pohybu, 2α – uhol kríženia stôp, l_k – dĺžka honovacích kameňov, $l_{1,2}$ – horný a dolný prebeh, l_z – zdvih honovacej hlavy

Pre zabezpečenie žiadúcej kvality povrchu a produktivity sa vždy pri honovaní používajú rezné kvapaliny, najčastejšie sú využívané zmesi petroleja s olejom alebo kyselinou olejovou. Rezné kvapaliny pri procese odoberajú vzniknuté teplo, znižujú rezné sily a odpory, ale najmä odvádzajú čistočky brusiva, triesky a spojiva z pórov. [2]

Podľa žiadanej presnosti honovaného povrchu sa delí na honovanie :

- jednostupňové (jeden nástroj pre hrubovanie i dokončovanie),
- dvojstupňové (jeden nástroj na hrubovanie a jeden nástroj na dokončovanie).

Nástrojom u rezného procesu honovania je honovacia hlava ktorá má rovnomerne po celom obvode upevnené radiálne nastaviteľne honovacie kamene. Mechanizmus honovacej hlavy nám dáva možnosť malých radiálnych posuvov kameňov a úpravu tlaku p_k medzi kameňmi a daným povrchom ktorý vzniká mechanicky, hydraulicky alebo pneumaticky. Pre obrábanie kalených ocelí sú honovacie kamene vyrábané z Al_2O_3 a pre mäkké ocele, liatiny sú vyrábané SiC. Pre vysoké požiadavky na kvalitu sa používajú kamene zo syntetického diamantu a kubického nitridu bóru. [1]



obr. 1.7 Honovacia hlava Feinmechanik Griebl [4]

Honovacie stroje majú široký rozsah prevedenia s rôznym stupňom automatizácie. Delíme ich z hľadiska polohy vretena na zvislé a vodorovné. Druhé kritérium delenia je podľa počtu vretien na jednovretenné a viacvretenné. Najviac používané sú zvislé jednovretenné honovacie stroje. [1]



obr. 1.8 Zvislý jednovretenový honovací stroj SV-2000 firmy SUNNEN [6]

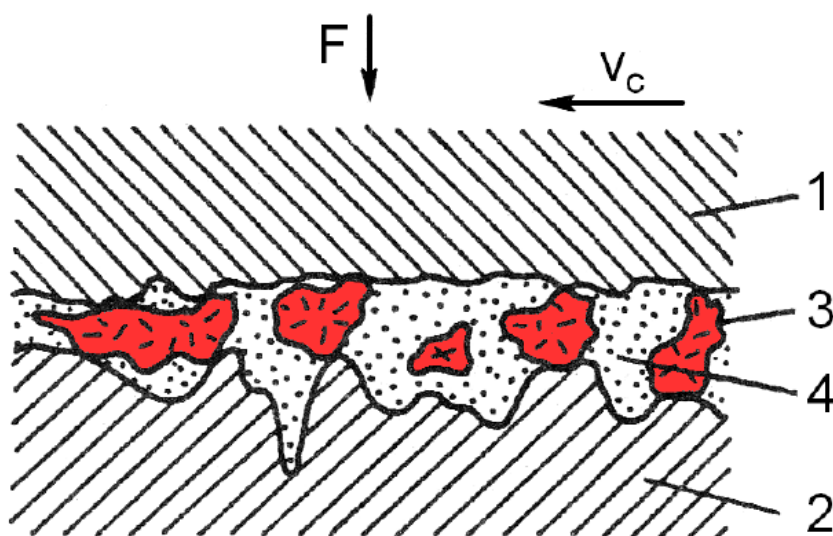
Honovanie sa využíva v praxi pri dokončovaní hydraulických, brzdových a pneumatických valcov, valcov spaľovacích motorov, bubnov, puzdier, ložísk vretena atď.

Tab. 1.1 Dosahované parametre presnosti u honovania[1]

Obrábané plochy	Metóda obrábania		Presnosť rozmerov IT		Ra [μm]	
			stredný	rozsah	stredný	rozsah
Vnútorne rotačná	Honovanie	hrubovacie	7	6 ÷ 8	0,4	0,20 ÷ 0,80
		dokončovacie	6	5 ÷ 7	0,15	0,10 ÷ 0,20
		jemné	4	3 ÷ 5	0,07	0,025 ÷ 0,10

1.1.3 Lapovanie

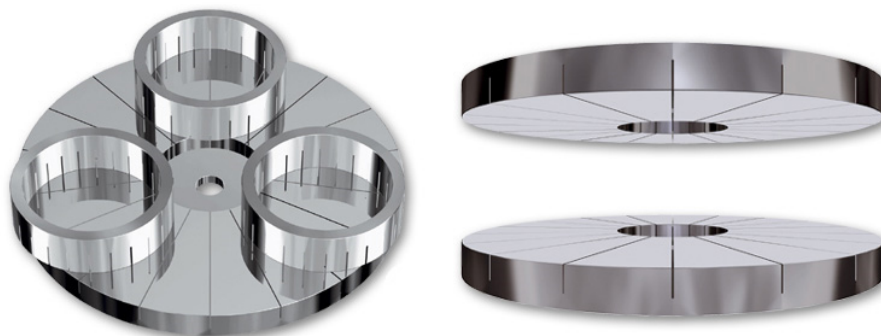
Lapovanie je dokončovacia metóda ktorá sa používa pri dokončovaní rovinných, valcových a tvarových plôch, ktoré sa vyznačuje najvyššou rozmerovou presnosťou a najmenšou drsnosťou povrchu. Lapovanie je zvláštny druh brúsenia za pomoci voľného brusiva ktoré je privedené medzi obrobok a lapovací nástroj. Z technologického hľadiska delíme lapovanie na hrubovacie, jemné a veľmi jemné. Nevýhodou lapovania sú vysoké ekonomické náklady a veľká prácnosť. [1]



obr. 1.9 Schéma rezného procesu pri lapovaní [1]

1- nástroj, 2 - obrobok, 3 - brusivo, 4 - lapovacie prostredie, v_c - rýchlosť lapovania, F - sila vyvolávajúca tlak P_k (medzi nástrojom a obrobkom).

Lapovacie nástroje sú vyznačované negatívnym tvarom lapovacích plôch, ako nosné médium sa používa kvapalina alebo pasta. Nástroje sú vyrábané z jemnozrnnej perlitickej alebo feritickej liatiny, z olova, medi, plastických hmôt a pod. Pre ručné lapovanie rovinných plôch sa používa lapovacia doska, pre lapovanie dier sa používajú lapovacie trne a pre lapovanie vonkajších plôch lapovacie prstence. Pri strojnom lapovaní sú lapovacími nástrojmi na rovinné plochy liatinové alebo brúsiace kotúče. Pri vonkajších rotačných plochách sa používa bezhrotový alebo priebežný spôsob, kedy nástrojom je kotúč s brusivom v keramickej väzba. [2]



obr. 1.10 Lapovací kotúč s axiálními drážkami [6]

Lapovacie stroje sú univerzálne (pre lapovanie valcových a rovinných plôch) alebo špeciálne ktoré sú určené na lapovanie konkrétnych druhov plôch ako sú napríklad boky zubov. [1]



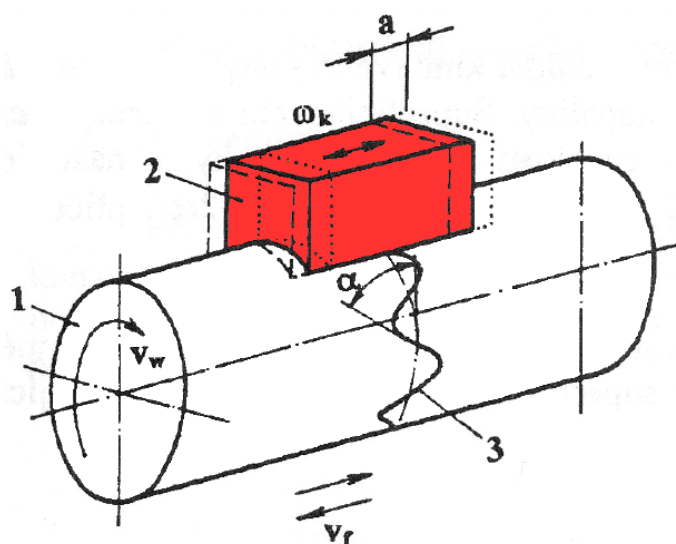
obr. 1.11 Zvislý lapovací stroj Servo RS 3100 Series firmy PR HOFMAN [7]

Lapovaním sa dokončujú funkčné plochy meradiel (kalibre), závitové spojenia, ozubená a súčiastky automobilových motorov. [1]

1.1.4 Superfinišovanie

Patrí medzi vysoko produktívnu dokončovaciu metódu obrábania. Superfinišujú sa vonkajšie a vnútorné rotačné, tvarové a rovinné plochy z kalenej a nekalenej ocele, liatiny, zliatin ťažkých kovov a plastov. Na priebeh predovšetkým vplýva rýchlosť kmitavého pohybu v_k , obvodová rýchlosť obrobku v_w (10 až 80 m.min⁻¹), tlak a viskozita reznej kvapaliny. Najpoužívanějšími reznými kvapalinami sú petrolej alebo olej s aditívami.

Superfinišovanie má dve fázy, hrubováciu a leštiacu, pri ktorej zohráva dôležitú úlohu uhol kríženie dráh zrn brusiva 2α , pre ktorý platí vzťah $\tan \alpha = v_k / v_w$. Najväčší odber sa dosahuje pri hodnote uhla $\alpha = 40^\circ$ a 60° , vzniknutý povrch je tmavý. Aby sme získali povrch s vysokým leskom musí uhol $\alpha < 40^\circ$. [1,2]



obr. 1.12 Kinematická schéma superfinišovania [1]

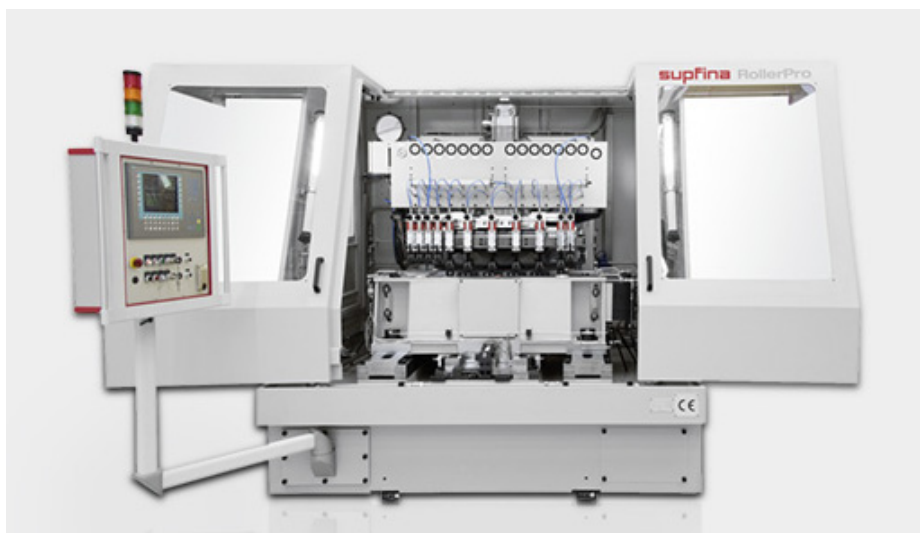
1 – obrobok, 2 – superfinišovací kameň, 3 – stopa po jednom zrne brusiva, v_w – rýchlosť otáčania obrobku, v_f – rýchlosť pozdĺžneho posuvu obrobku, a – amplitúda, ω_k – frekvencia kmitavého pohybu; α – uhol sklonu stopy po jednom zrne brusiva

Ako nástroj sa používajú superfinišovacie kamene. U ocelí sa používajú kamene s brusivom korundu a keramickou alebo bakelitovou väzbou. Pre liatiny a oceli nižších pevností sa aplikujú kamene z brusiva karbidu kremík. Pre tvrdé ocele sa využíva kubický nitrid bóru alebo diamant. Uchytenie kameňov v superfinišovacích hlavách je prevedené mechanicky alebo sa lepia na oceľové podložky. [1]



obr. 1.13 Superfinašovací kamene firmy CHEIL GRINDING WHEEL IND. Co [8]

Stroje pre superfinašovanie sú vyrábané a dodávané ako jednovretenové alebo viacvretenové, sú využívané najčastejšie pre dokončovanie valivých ložísk, piestnych čapov, driekov ventilov. Vo výrobe sa využívajú prídavne zariadenia, ktoré sa upínajú na suporty hrotových sústruhov, alebo na hrotové brúsky a to ako u malosériovej tak i kusovej výroby. [1]



obr. 1.14 Superfinašovací stroj RollerPro 470 firmy SUPFIMA [9]

1.2 Beztrieskové metódy dokončovania

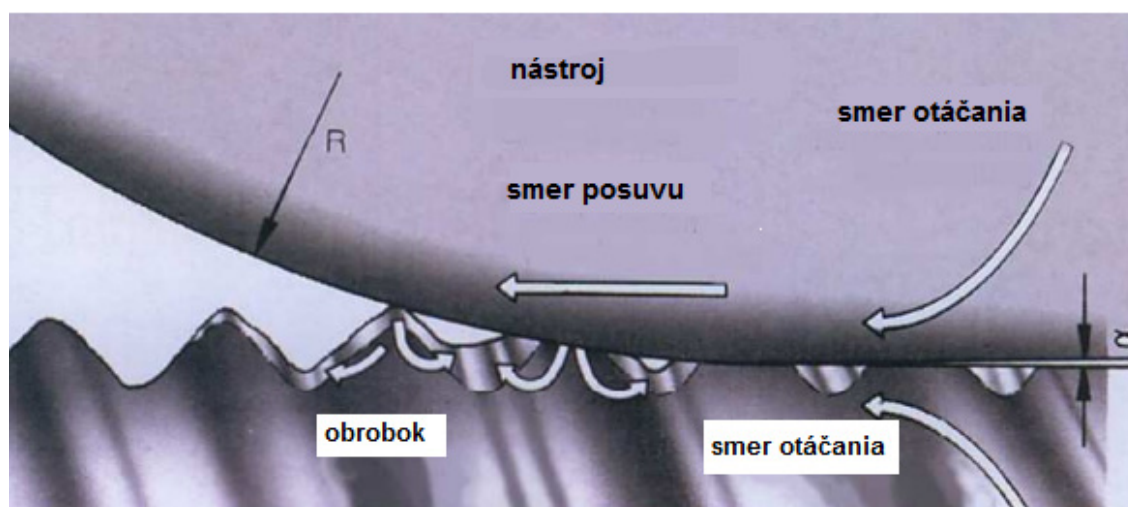
Beztrieskové dokončovanie obrábaného povrchu má základ v plastickej deformácii povrchovej vrstvy do hĺbky niekoľkých stotín až desiatin milimetra. Táto deformácia má za následok zlepšovanie parametrov štruktúry povrchu a k zvýšeniu tvrdosti a pevnosti. Ďalej dochádza k vzniku tlakového napätia a zvýšeniu medze únavy, opotrebeniu a korozite.

K predstaviteľom beztrieskovej metódy patrí valčekovanie, guľčovanie, a vyhladzovanie povrchu diamantom. [1]

1.2.1 Valčekovanie

Válčekovanie môže byť statické alebo dynamické. Princíp spočíva v pôsobení tvrdého nástroja, vysokým tlakom v mieste styku na dokončovanú plochu, ktorý má za následok plastickú deformáciu. Statické valčekovanie sa vyznačuje tým že tváriaca sila má takmer stále konštantnú veľkosť a výsledná akosť obročku závisí na priemere aktívneho povrchu valčekovania. U menšieho priemeru sa zvyšuje hĺbka spevnenia a u väčšieho priemeru sa zvyšuje drsnosť povrchu R_a . Dosahovaná je priemerná aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,03$ až $0,05 \mu\text{m}$ [1,3]

Pri dynamickom valčekovaní je povrch deformovaný časovo obmedzeným silovým impulzom tváriaceho prvku, vyvolaným rotujúcim tŕňom alebo krúžkom s vačkovými plochami. Dosahujeme veľké hĺbky spevnenia a priemernú aritmetickú úchylku profilu $R_a = 0,03$ až $0,05 \mu\text{m}$. [1]



obr. 1.15 Schéma metódy valčekovania [10]



obr. 1.16 valčkovacia hlava [11]

Valčekujú sa najčastejšie vnútorné a vonkajšie valcové a kužeľové plochy, z tvárnych materiálov ktorých pevnosť neprevyšuje 1250 MPa, minimálna ťažnosť je 8%. Slúži pre dokončovanie obrobených plôch s dosahujúcou priemernou aritmetickou úchylkou profilu $Ra < 3,2 \mu m$. Prítlačná sila sa pohybuje od 500 do 5000 N v závislosti na materiálu obrobku. Nástroj s obrobkom treba chlaďiť a mazať, vhodné pracovné prostredie je vretenový olej alebo emulzia. [1]



obr. 1.17 príklady využitia valčkovania [12]

Metóda valčekovania sa využíva napríklad u vnútorných priemeroch statoru elektromotoru, vnútorného povrch puzdier spojovacích častí ojníc, otvory pre uloženie ložiska, vnútorné plochy brzdových valcov, plochy pre nalisovanie vnútorných krúžkov valivých ložísk, klzné plochy hydraulických valcov a piestov atď. [12]

1.2.2 Guličkovanie

Statické guličkovanie je podobné ako statické valčekovanie, jedine v čom sa líšia je, že tvarovacím nástrojom je guľička uložená v držiaku alebo krúžku, aby bolo docielené plynulé odvaľovanie po povrchu. Najčastejšie sa dokončujú vnútorné a vonkajšie valcové a kužeľové plochy, z tvárnych materiálov ktorých pevnosť neprevyšuje 1000 MPa, minimálna ťažnosť je 12%. Na vonkajšie priemery sa používajú držiaky s jednou alebo viacerými guľičkami, u ktorých dosiahneme väčšieho výkonu. Pre vnútorné valcové plochy sa využívajú rotačné tŕne. Dosahovaná výsledná priemernou aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,1$ až $0,4 \mu\text{m}$. [1]

Dynamické guličkovanie pracuje na princípe vrhania prúdu guľičiek o priemere $0,03$ až $0,3 \text{ mm}$ z kalenej ocele alebo bielej liatiny pri rýchlosti až $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tým dochádza k spevňovaniu povrchu predovšetkým tvarovo zložitých súčiastok. Existujú však aj obdoby ako hydrofíniš a balotínovanie, kedy sa na povrch vrhá brusivo v prúde tlakovej kvapaliny alebo sklenené guľičky, ktoré sú vrhané buď tlakovou vodou alebo vzduchom. Výsledná priemerná aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$. [1]

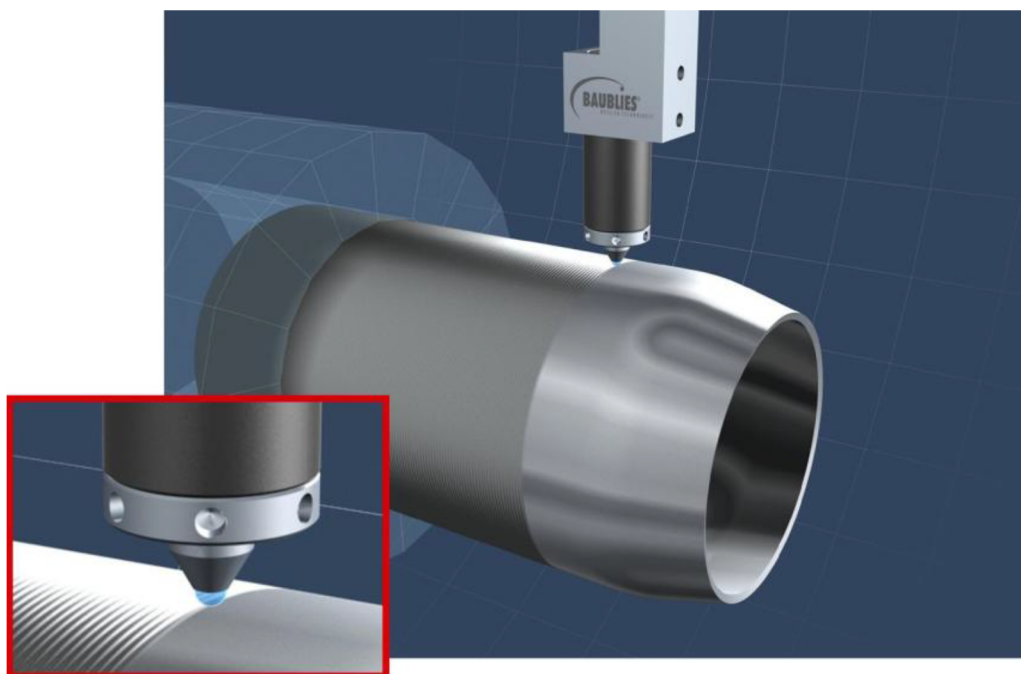


obr. 1.18 guličkovanie súčiastky motoru lietadla [13]

Vibračné guličkované sa využíva pre dokončovanie tvarovo zložitejších súčiastok a realizuje sa za pomoci guľičiek umiestnených v nádobe, ktorej je udeľovaný kmitavý pohyb. [1]

1.2.3 Vyhľadzovanie povrchu diamantom

Patrí medzi beztrieskové dokončovacie metódy. Využíva sa u súčiastok vyrobených z tepelne spracovanej ocele, najväčší účinok dosahuje u ocelí s tvrdosťou 50 až 55 HRC. Táto metóda spočíva vo vyhladzovaní povrchu pomocou diamantu s kužeľovou špičkou, pričom v mieste styku nedochádza k odvaľovaniu ako u valčkovania, ale ku klznému treniu. [2]



obr. 1.19 Diamantový nástroj pre vonkajšie hladenie (BAUBLIES AG) [14]

1.3 Jemné obrábanie

Pokiaľ sú z technologického hľadiska požiadavky na hodnoty drsnosti a presnosti bežné ($R_a = 0,4 - 0,8 \mu\text{m}$, IT 5-6) môžeme využiť základné metódy obrábania. Metóda spočíva v odberu triesky hladiaceho nástroja s malým uhlom vedľajšieho ostria (1° až 2°), poprípade s kvalitným britom a veľkým polomerom špičky (50 – 200 mm a viac). [15]

Tab. 1.2 Dosahované parametre presností obrobených plôch pre základne metódy [1]

Obrábané plochy	Metóda obrábania	Presnosť rozmerov IT		Ra [μm]	
		stredný	rozsah	stredný	rozsah
Vonkajšia rotačná	Sústruženie				
	hrubovanie	13	11 až 14	25	12,5 až 50
	dokončovanie	10	9 až 11	3,2	1,6 až 12,5
	jemné	8	7 až 9	0,8	0,4 až 1,6
	spek. karbitom	6	5 až 7	0,4	0,2 až 0,8
Vnútna rotačná	jemné diamantom				
	Sústruženie				
	hrubovanie	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	dokončovanie	10	9 až 12	3,2	1,5 až 12,5
	Vŕtanie šrobovitým vrtákom				
	bez vedenia	13	12 až 14	6,3	6,3 až 25
	s vedením	12	10 až 13	3,2	3,2 až 25
	Vyhrubovanie	9	9 až 11	3,2	1,6 až 3,2
	Vysružovanie	8	7 až 9	0,8	0,8 až 3,2
	Zahlbovanie				
	hrubovanie	12	11 až 14	3,2	1,6 až 12,5
	dokončovanie	9	7 až 10	1,6	1,6 až 6,3
	Vyvŕtavanie				
	hrubovanie	12	11 až 14	25	12,5 až 50
	dokončovanie	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	jemné	6	5 až 8	0,8	0,4 až 1,6
	spek. karbitom	5	4 až 7	0,4	0,2 až 0,8
	jemné diamantom				
	Preťahovanie				
	hrubovanie	8	7 až 8	1,6	0,8 až 3,2
	dokončovanie	7	5 až 7	0,4	0,2 až 0,8
Rovinná	Frézovanie				
	hrubovanie	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	valcovou frérou	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	dokonč. valc. frérou	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	hrub. nožovou hlavou	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	dokonč. nožovou hlavou	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemne. spekaným karbidom				
	Hobľovanie				
	hrubovanie	12	12 až 13	50	25 až 100
	dokončovanie	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5
	jemné	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6

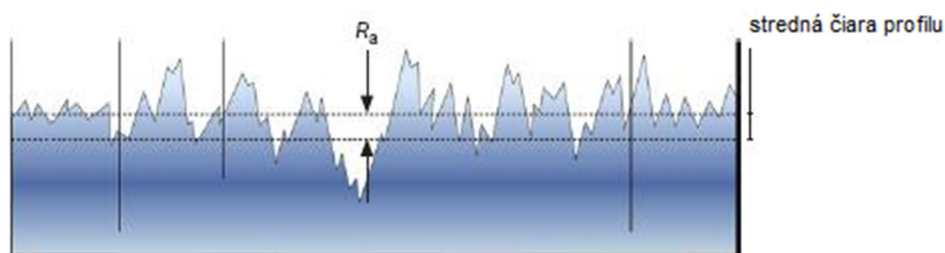
2 Stav povrchu po dokončovacom obrábání

Obrábanie je veľmi rozmanitý a zložitý proces, ktorý v sebe skrýva mnoho závislostí a podmienok. Všetky procesy v obrábání, či už s definovanou alebo nedefinovanou geometriou ostria majú svoje výhody aj nevýhody, avšak čo majú spoločné je to že zakaždým vzniká nový povrch. Existuje teda mnoho faktorov ktoré musíme uvažovať, aby boli zachované jednotlivé zložky integrity povrchu a aby nedošlo k negatívnym následkom pri používaní daných súčiastok. [16]

2.1 Integrita povrchu

Jednotlivými zložkami integrity povrchu sú drsnosť povrchu, geometrická presnosť, zmena tvrdosti v povrchovej vrstve, zmena štruktúry v povrchovej vrstve, tepelné zmeny, trhliny a zvyškové napätia. [16]

Na hodnotenie štruktúry povrchu sa využívajú normalizované parametre podľa normy ČSN EN ISO 4287 a sú stanovené pre dvojrozmerné metódy meraní. Norma popisuje rôzne metódy merania a parametre profilu povrchu. Najčastejšími ktoré sa v praxi používajú sú R-parametre (sú parametre drsnosti, ktoré sa vypočítajú z profilu drsnosti) najväčšej výšky profilu R_z a priemernej aritmetickej úchylky profilu R_a . [17]



obr. 2.1 Priemerná aritmetická úchylka profilu R_a [18]

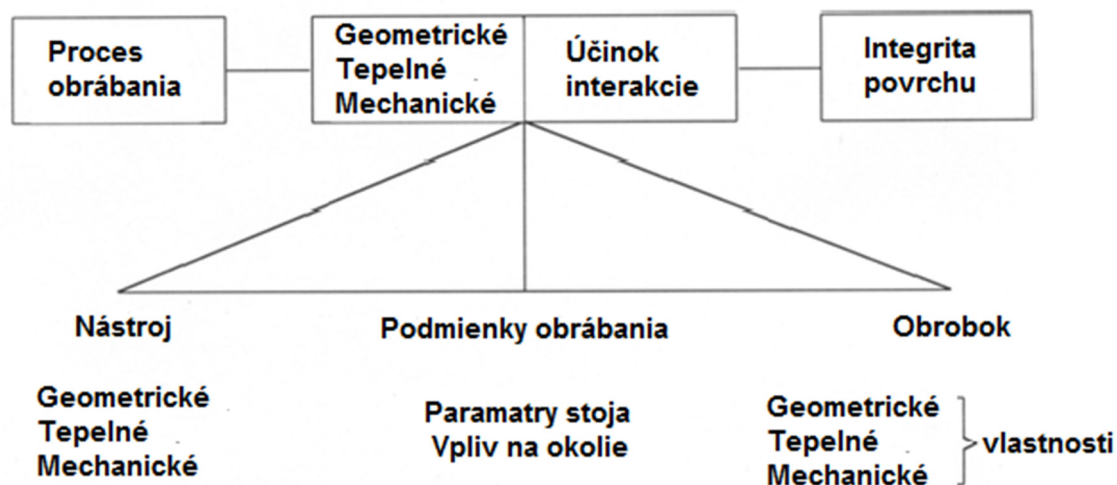
Geometrické zmeny nie sú len tie ktoré ovplyvňujú povrch, vieme že pri procesoch obrábania v súčiastkach vznikajú zmeny vlastností základného materiálu. Výsledné vlastnosti tejto povrchovej vrstvy sú veľmi dôležité z hľadiska použitia danej súčiastky, ktorá bude pracovať v reálnych podmienkach a bude ovplyvňovaná viacerými faktormi ako prostredie, teplo a napätie v danej súčiastke. [19]

Pri každom či už ide o konvenčné alebo nekonvenčné obrábanie treba uvažovať, že tieto procesy v sebe zahŕňajú elasticú deformáciu, plastickú deformáciu, mikrotrhliny a ďalšie zmeny závislé na druhu obrábaného materiálu. [19]

2.2 Zvyškové napätie

Vznikajú v materiálu súčiastky počas výrobného procesu. Podľa možnosti ich využitia, môžu byť zvyškové napätia prospešné alebo môžu zhoršovať funkčné vlastnosti súčiastky. Zvyškové napätia vznikajú pôsobením mechanických, chemických a tepelných účinkov a môžu byť buď tlakové alebo ťahové. [19]

Uvažovaná veľkosť deformácie súčiastky je obvykle rovná množstvu obrábaného materiálu. Po dokončovacích metódach obrábania sú zvyškové napätia rozmiestnené v povrchovej vrstve danej súčiastky. Vplýva na dynamickú a statickú pevnosť, ale aj na odolnosť voči korózií. Dôležitými údajmi u zvyškového napätia sú znamienko napätia (ťah alebo tlak), hĺbka do ktorej prenikajú a maximálna hodnota napätia. [19]



obr. 2.2 Vytváranie a vplyv zvyškového napätia [19]

3 Experiment

Firma Bernex Bimetalic s.r.o so sídlom v Modřiciach je švajčiarska spoločnosť ktorá sídli v Oltene. V súčasnej dobe toto meno predstavuje spoločnosti Bernex s trhmi vo Švajčiarsku, Česku a Taliansku. Firma patrí medzi popredných európskych výrobcov šnekov, komôr a plastifikačných jednotiek.

Hlavným cieľom tohto experimentu je všeobecne oboznámenie s technologickým postupom výroby a dodržanie požadovanej priemernej aritmetickej úchyľky profilu vnútornej diery $Ra < 0,4 \mu m$ u dokončovacej operácií honovanie.

3.1 Technologický postup

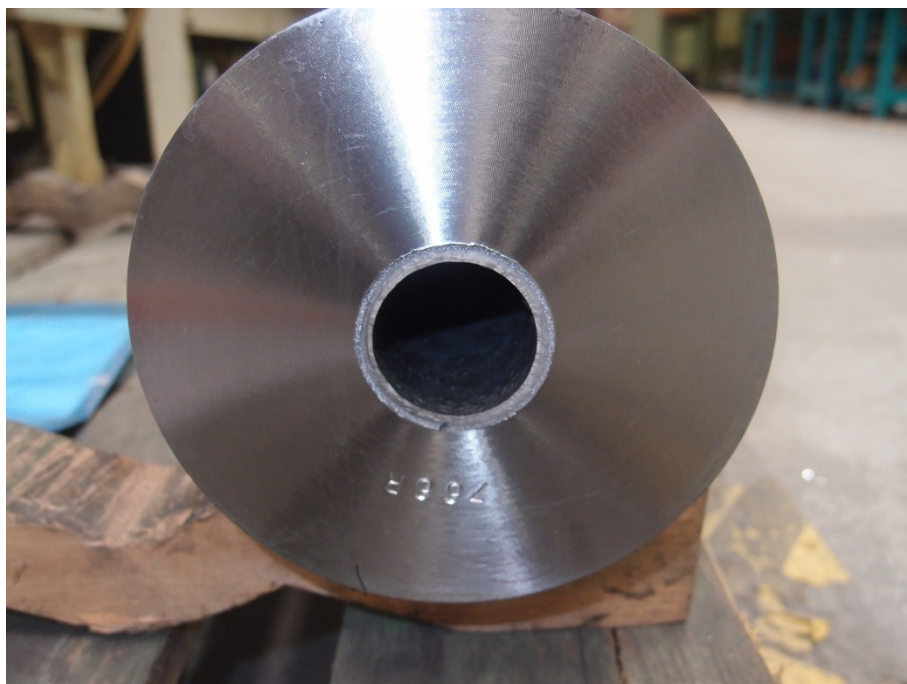
Ako predvolený surový materiál sa používa oceľová guľatina BM 63 1.8519 (51CrV4) o priemeroch 80 a 140 mm. Daný materiál sa podľa zadanej zákazky narezal strojovou pílou na priemeru 90 mm v počte 10 ks, dĺžky 1060 mm a na priemer 140 mm v počte 15 ks, dĺžky 1185 mm. Ďalej nasleduje Sústruženie (hrubovanie) na požadovaný priemer.

Následne sa vyvŕta otvor podľa výkresu súčiastky s prídavkom podľa normy + 1,7 mm. Po vyvrtaní sa sústruží diameter na hotovo a kontroluje sa hádzanie. Následne idú súčiastky na kooperáciu chromovanie.

Po chromovaní nasleduje spinovanie, kedy sa do diery nasype požadované množstvo zväracieho prášku AC 333 (zliatina Ni, Mo, Cu, C, B) a zavaria sa krytkami oba otvory. Pomocou spinovania sa vytvorí vložka o tvrdosti 64 – 69 HRC. Po spinovaní sa valce musia ochladiť na chladiacom stole.

Po ochladení sa upichnú oba konce barelov a nasleduje operácia jednostupňové honovanie (jeden nástroj pre hrubovanie i dokončovanie), kedy sa najprv na začiatku zvolí nízky tlak p_k a malý posuv k odstráneniu oxidačnej vrstvy, aby sa nepravidelný povrch po spinovaní zrovnal. Po odstránení oxidačnej vrstvy nasleduje zvýšenie na bežný tlak. Hrubuje sa do rozmeru 0,2 mm pred dokončením.

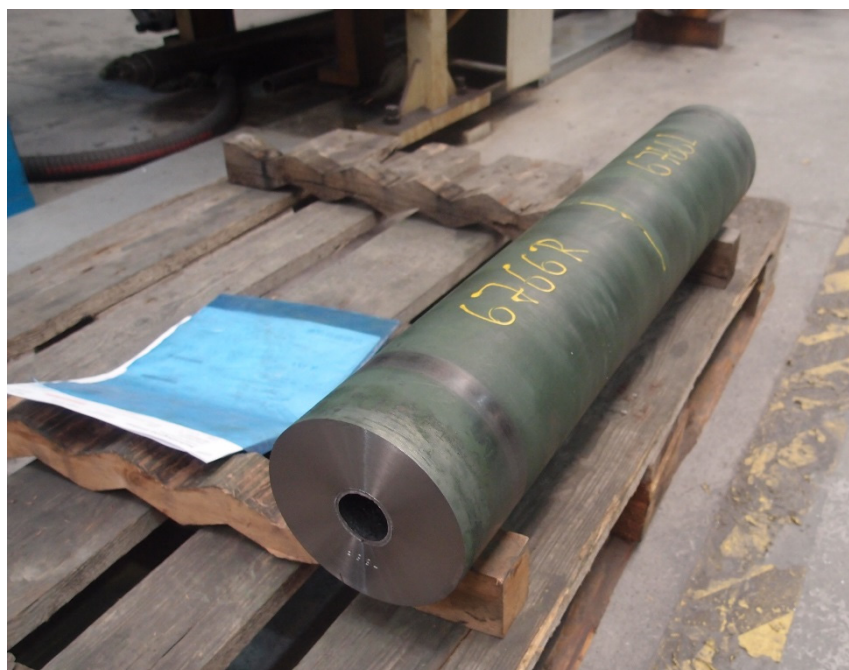
Pred honovaním na hotovo sa kontroluje pórovitosť a tvrdosť vložky. Po kontrole prichádza honovanie na hotovo podľa výkresu. Pri dokončovaní sa zníži tlak P_k , následne sa kontroluje požadovaná priemerná aritmetická úchyľka profilu Ra a ako posledné sa barel sústruží na hotovú dĺžku podľa výkresu.



obr. 3.1 Povrch diery po spinovaní (oxidačná vrstva)



obr. 3.2 Povrch diery po honovaní na hotovo



obr. 3.3 Výsledný produkt

3.2 Nástroj na honovanie

Nástroj na honovanie sa používa honovacie hlava s honovacími kameňmi od firmy Gehring B301 na hrubovanie a B046 na hotovo, rozmer 4 x 100 mm (4 ks na jednej hlave).



obr. 3.4 Honovacie hlavy s kameňmi

3.3 Obrábací stroj na honovanie

Vo firma sa používa univerzálna honovačka SIG B 31/4, ktorá prešla už viacerými úpravami od firmy Siemens. Ako emulzia sa používa honovací olej Motorex Swiss finish 4004.



obr. 3.5 Honovacie Stroj SIF B 31/4

4 Vyhodnotenie výsledkov

Na meranie požadovanej priemernej aritmetickej úchyľky profilu sa používa Profilometer Mahr Perthometer M2 je to dotykové meradlo s fázovo korigovaným filtrom. Dokáže skúmať povrchy snímacím hrotom a získava úchyľky vo forme profilu povrchu, vypočítava a zaznamenáva parametre profilu. Podpora podľa DIN EN ISO 12085.

Technické parametre:

Rozsah:	do 150 μm ,
Uhol diamantového kužeľa:	90 °,
Polomer hrotu:	2 mm,
Štandard:	DIN/ ISO/ JIS a CNOMO 1; 1,75; 2; 4; 5,6; 8; 12; 17,5,
Snímaná dĺžka:	mm,
Parametri podľa DIN/ ISO/ SEP:	Ra, Rz, Rmax, Rp, Rq,
Tlač:	R - profil, P – profil



obr. 4.1 Profilometer Mahr Perthometer M2

4.1 Namerané hodnoty

Tab. 4.1 Dosiahnuté parametre priemernej aritmetickej úchyľky profilu Ra

Rozmery (ID x OD x L) : 28H7 x 130 x 875				Počet ks : 15
Základný materiál : BM 63			Materiál vložky : AC 333	
Kus č.	n [min ⁻¹]	V _f [m/min ¹]	P [N/mm ²]	Ra [μm]
1	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,217
2	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,257
3	440	16	0,5 ÷ 1,4	0,306
4	450	16	0,5 ÷ 1,4	0,318
5	450	16	0,5 ÷ 1,4	0,303
6	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,205
7	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,225
8	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,209
9	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,235
10	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,248
11	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,225
12	480	16	0,5 ÷ 1,4	0,316
13	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,251
14	400	16	0,5 ÷ 1,4	0,275
15	430	16	0,5 ÷ 1,4	0,261
Rozmery (ID x OD x L) : 25H7 x 75 x 750				Počet ks : 10
Základný materiál : BM 63			Materiál vložky : AC 333	
Kus č.	n [min ⁻¹]	V _f [m.min ⁻¹]	P [N/mm ²]	Ra [μm]
1	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,302
2	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,325
3	440	16	0,4 ÷ 1,2	0,306
4	430	16	0,4 ÷ 1,2	0,316
5	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,344
6	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,334
7	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,298
8	480	16	0,4 ÷ 1,2	0,312
9	440	16	0,4 ÷ 1,2	0,285
10	440	16	0,4 ÷ 1,2	0,255

5 Záver

Táto bakalárska práca analyzuje vybrané dokončovacie spôsoby obrábania. V teoretickej časti stručne charakterizuje jednotlivé metódy, dosahované parametre a popisuje ich využitie v oblasti strojárstva. Dosahované rozmerové a povrchové parametre závisia na vhodne zvolenej technológii obrábania. Preto je veľmi dôležité aby sa zohľadnili všetky klady a zápory či už z ekonomického alebo technologického hľadiska.

Zásadný vplyv na vlastnosti má integrita povrchu, ktorá v sebe zahŕňa jednotlivé zložky ako sú drsnosť, rozmerová presnosť, zvyškové napätie, a spevnenie povrchovej vrstvy obrobkou.

Z hľadiska budúcnosti sa budú predovšetkým klásť požiadavky na zvýšenie kvality, rýchlosti, presnosti a zníženie ekonomických nákladov. Z metód ktorá by mohla v budúcnosti spĺňať tieto požiadavky je metóda valčekovania, pri ktorej súčiastka zvyšuje svoju únavovú pevnosť, odolnosť voči oteru aj korózii a zvyšuje jej tvrdosť.

V praktickej časti bol vykonaný experiment vo Firme Firma Bernex Bimetalic s.r.o. Experimentom bola dokončovacia metóda honovanie vnútorných dier, kde za cieľom bolo dosiahnuť požadovanú priemernú aritmetickú úchylku profilu Ra. Meranie jednotlivých hodnôt bolo prevedené pomocou meracieho prístroja po každom odhonovanom kuse a porovnané s požadovanou hodnotou. Dosahované parametre u všetkých kusov spĺňali požadovanú hodnotu $Ra < 0,4 \mu m$.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] KOČMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav. Technologické procesy obrábění. Vydání první. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2011. 330 s ISBN 978-80-3068.
- [2] HUMÁR, Anton. Technologie I, Technologie obrábění – 3. část : Studijní opory pro magisterskou formu studia. 2005. 57 s. Dostupné z WWW :<<http://ust.fme.vutbr.cz/>>.
- [3] JIANNHER MACHINE CO., LTD, *Cylindrical grinder* [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.jainnher.com/images/p1-3.jpg>>.
- [4] FEINMECHANIK GRIEBEL GMBH & Co. KG. Bischofsheim, Germany. *Multi Stone Honing Tools* [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné na WWW: <<http://feinmechanik-griebel.de/en/multi-stone-honing-tools>>.
- [5] SUNNEN PRODUCTS COMPANY. *Vertical honing machines* [online]. [cit. 8.4.2014]. Dostupné na WWW
< <http://www.sunnen.com/graphics/assets/images/07f642e2b36c.jpg>>.
- [6] GONTERMANN-PEIPERS GMBH, *Lapping tools* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné na WWW: < http://www.gontermann-peipers.de/uploads/pics/laepfwerkstoffe-reihe_01.jpg >.
- [7] PR HOFFMAN Machine Products, Inc. [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupné na WWW: < <http://www.prhoffman.com/images/servo-3100.jpg> >.
- [8] CHEIL GRINDING WHEEL IND. Co., *Super finishing tools* [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupné na WWW: < http://www.grinding.co.kr/img/en/prod/cttpic_bi_02.gif>.
- [9] SUPFINA GRIESHABER. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné na WWW:
< http://www.supfina.com/uploads/tx_products/RollerPro-488_slider_18.jpg >
- [10] WINTER SERVIS s.r.o., *Válečkování povrchu* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné na WWW: < http://www.winter-servis.cz/obrazy/ecoroll/glw_Fig2.jpg >.
- [11] COGSDILL Tool Products, Inc, *Roll a finish tools* [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupné na WWW: < <http://www.cogsdill.com/wp-content/uploads/2010/01/Cogsdill-U-Series-Roll-a-finish-Roller-Burnishing-tool-245x300.jpg> >.
- [12] YAMASA, LTD, *Sample of Application* [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupné na WWW: < [http://yamasa.com.tr/UserFiles/image/dxuygulama\(1\).png](http://yamasa.com.tr/UserFiles/image/dxuygulama(1).png) >.

- [13] GILLESPIE. *CUTTING TOOL ENGINEERING Magazine* [online]. 2009 [cit. 15.4.2014]. Dostupný na WWW: < http://www.ctemag.com/aa_pages/2009/0908-PartsFinishing-web-images/_MG_0716_opt.jpeg >.
- [14] ALBA PRECISION, SPOL. S R.O.. *Baublies* [online]. [cit. 15.4.2014]. Dostupný na WWW:
< http://www.albaprecision.cz/images/produkty/baublies/diamant_vnejsi_1.jpg >.
- [15] MÁDL, Ján, KAFKA, Jindřich, VRABEC, Martin a DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění – 3. díl*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 81 s. ISBN 80-01-02091-6
- [16] NOVÁK, Martin a HOLEŠOVSKÝ, František. *Studium integrity broušeného povrchu* [online]. [cit. 21.4.2014]. Dostupný na WWW:
< <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf08/2-str-11-13.pdf> >.
- [17] ČSN EN ISO 4287:1997. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha : Český normalizační institut, 1999. 24 s.
- [18] SANDVIK COROMANT. *measuring surfaces* [online]. [cit. 22.4.2014]. Dostupný na WWW:
< http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionImages/Technical%20guide/Snapshots/cze/I%20Information%20Index/i014_2_cze.jpg >.
- [19] BUMBÁLEK, Bohumil. *Vysoce přesné metody obrábění a jejich fyzikální podstata: Studijní opory pro magisterskou formu studia*. 2004. 63s. Dostupné z WWW :<<http://ust.fme.vutbr.cz/>>.

Zoznam použitých skratiek a symbolov

Skratka/Symbol	Jednotka	Popis
2α	rad	Uhol kríženia stôp
Al_2O_3	-	Oxid hlinitý (umelý korund)
B	-	Bróm
C	-	Uhlík
Cu	-	Meď
HRC	-	Tvrdosť podľa Rockwella
IT	-	Presnosť rozmerov
Ks	-	Počet kusov
$l_{1,2}$	mm	Horný a dolný priebeh
l_k	mm	Dĺžka honovacích kameňov
l_z	mm	Zdvih honovacej hlavy
Mo	-	Molybdén
n	min^{-1}	Počet otáčok
Ni	-	Nikel
n_s	ot.s^{-1}	Frekvencia otáčania BK
n_w	ot.s^{-1}	Frekvencia otáčania obrobku
ω_n	min^{-1}	Frekvencia kmitavého pohybu
P_k	MPa	Prítlačný tlak
Ra	μm	Priemerná aritmetická úchylka profilu
r_n	mm	Polomer zaoblenia ostria
R_p	μm	Najvyššia výška výstupného profilu
Rz	μm	Najvyššia výška profilu
SiC	-	Karbid kremíku
v_c	m.min^{-1}	Rezná rýchlosť
v_f	mm.min^{-1}	Posuvná rýchlosť
v_{fa}	mm.min^{-1}	Axiálna rýchlosť posuvu stola
v_{fr}	m.min^{-1}	Radiálna rýchlosť posuvu stola
v_{ft}	mm.min^{-1}	Tangenciálna rýchlosť posuvu stola

v_k	$m \cdot min^{-1}$	Rýchlost' kmitavého pohybu
v_w	$m \cdot min^{-1}$	Obvodová rýchlost'
α_n	rad	Nástrojový normálový uhol chrbta
γ_n	rad	Nástrojový normálny uhol čela

Zoznam príloh

Príloha 1 Výrobný výkres barelu zákazka č.1

Príloha 2 Výrobný výkres barelu zákazka č.2